

УДК 528.15:550.83

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ДАТЧИКОВ ПОЛОЖЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ГРАВИМЕТРА

к.т.н. А.М. Крюков
(представил д.т.н. проф. Б.Ф. Самойленко)

Разработаны способы съема информации с газогидродинамического чувствительного элемента гравиметра, определены метрологические характеристики емкостных и оптических датчиков. Даны рекомендации по применению датчиков в составе гравиметра.

Одним из перспективных направлений создания гравиметров, обладающих требуемой совокупностью характеристик, является использование нетрадиционных физических принципов построения чувствительного элемента (ЧЭ), в частности, использование газогидродинамического (ГГД) ЧЭ. Принципом функционирования такого ЧЭ является измерение реакции жидкого компонента при его равномерном вращении в полости цилиндрического ротора относительно фиксированной оси в гравитационном поле. К основным достоинствам ГГД ЧЭ могут быть отнесены: способность функционировать в условиях значительных перегрузок без потери работоспособности; отсутствие сил сухого трения, гистерезисных явлений; малое время одного измерения; инвариантность к внешним электромагнитным полям и др.

В настоящее время известен ряд способов съема информации с ГГД ЧЭ, однако датчики положения проработаны концептуально на уровне структурных схем без математического моделирования, анализа и оценки основных метрологических характеристик. Таким образом, разработка принципов построения и анализ метрологических характеристик датчиков положения ГГД ЧЭ являются актуальными задачами.

Один из возможных способов съема информации основывается на использовании явления изменения электрической емкости конденсатора вследствие изменения площади контакта жидкого компонента с торцом полости ротора. Конденсатор образуется двумя электродами: торцом полости ротора и дополнительной параллельной пластиной. Ем-

© к.т.н. А.М. Крюков, 1998

кость конденсатора эквивалентна сумме емкостей двух параллельно включенных участков: с жидким диэлектриком и газового, и определяется выражением

$$C = \frac{\epsilon_f \epsilon_0 S_f}{d} + \frac{\epsilon_a \epsilon_0 S_a}{d}, \quad (1)$$

где S_f и S_a - площади контакта жидкости и газа с торцом полости ротора; d - расстояние между пластинами; ϵ_f и ϵ_a - диэлектрическая проницаемость жидкости и газа; $\epsilon_0 = 8 / 85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м - электрическая постоянная.

Изменение Δg ускорения силы тяжести приводит к появлению выходного сигнала ΔU_g , определяемого с учетом (1) и статических характеристик ГГД ЧЭ [1] следующим образом:

$$\Delta U_g = \frac{UH(\epsilon_f - \epsilon_a)}{2\omega^2 a^2 \left(\frac{h}{H}(\epsilon_f - \epsilon_a) + \epsilon_a \right)} \Delta g,$$

где U - напряжение электропитания датчика; H - высота полости ротора ЧЭ; a - радиус основания ротора ЧЭ; ω - угловая скорость вращения ротора; h - уровень жидкости в полости ротора при $\omega = 0$.

Анализ зависимостей $\Delta U_g(\Delta g)$ показывает, что может быть достигнута чувствительность емкостного датчика порядка (20 - 100) мкВ/мГал, что является вполне удовлетворительным с точки зрения возможности последующей обработки сигнала.

При рассмотрении метрологических характеристик такого датчика важным вопросом является определение порога его чувствительности, ограниченного значениями собственных шумов проводящих участков цепи. Уровень токовых шумов на 1 - 2 порядка превышает уровень тепловых шумов и определяется отношением η э.д.с. шума к величине приложенного к проводнику напряжения. Для наименее шумящих элементов уровень токовых шумов находится в пределах (0,05 - 0,1) мкВ/В приложенного напряжения [2]. Таким образом, ввиду наличия шумов в проводящих элементах цепи целесообразно ограничить порог чувствительности датчика значениями (0,1 - 0,2) мГал.

Другой возможный способ съема информации с ГГД ЧЭ основан на измерении светового потока, пропорционального площади контакта жидкого компонента с торцом полости ротора. При этом подразумевается использование непрозрачной жидкости с высоким коэффициентом поглощения. Внутри полости ротора ГГД ЧЭ размещается точечный

источник излучения, позволяющий создать световые потоки в направлениях прозрачных верхнего и нижнего торцов ротора. Оптические системы, расположенные вне полости ротора вблизи ее торцов, собирают световой поток и фокусируют его в точки, в которых установлены фотоприемники, например, фотоэлектронные умножители (ФЭУ). При этом, жидкий компонент в каждом из торцов полости ротора функционирует в качестве диафрагмы, уменьшая или увеличивая световой поток, проходящий на фотоприемник.

Световой поток Φ , попадающий на рабочую площадку фотокатода ФЭУ, вызывает появление анодного тока i [3]:

$$i = kI\mu S_a \left(\frac{H}{2} \right)^{-2},$$

где k - коэффициент, учитывающий поглощение и рассеивание светового потока торцом ротора и оптической системой; μ - анодная чувствительность ФЭУ; I - интенсивность силы света источника; S_a - площадь части торца ротора, не покрываемой жидкостью.

Изменение ускорения силы тяжести Δg приводит к изменению ΔS площади контакта жидкости с торцом полости ротора, что эквивалентно изменению силы анодного тока Δi . С учетом статических характеристик ГГД ЧЭ функция преобразования принимает вид

$$\Delta i = \frac{4\pi kI\mu}{\omega^2 H} \Delta g.$$

Рассматриваемый способ съема информации предполагает использование двух ФЭУ и включение анодных резисторов R_a по дифференциальной схеме, что позволит исключить постоянную составляющую из выходного сигнала датчика. Выходное напряжение ΔU датчика определяется следующим образом:

$$\Delta U = 2R_a \Delta i = \frac{8\pi k\mu I R_a}{\omega^2 H} \Delta g. \quad (2)$$

Порог чувствительности рассматриваемого датчика определяется как порогом чувствительности собственно ФЭУ, так и токовыми шумами в проводящих элементах схемы. Порог чувствительности для большинства типов ФЭУ весьма низок и составляет порядка 10^{-12} лм [3].

Анализ показывает, что для различных типов ФЭУ порог чувствительности датчика, ограничиваемый порогом чувствительности ФЭУ, находится в диапазоне (0,007 - 0,22) мГал.

Токовые шумы в датчике определяются падением напряжения на активном сопротивлении R_a и коэффициентом $\eta = (0,05 - 0,1)$ мкВ/В.

Отношение $N = \frac{iR_a \eta}{\Delta U}$ при заданном значении Δg характеризует вес токовых шумов в выходном сигнале, с учетом (2), определяется выражением:

$$N = \frac{\omega^2 S_a}{2\pi H \Delta g} \eta. \quad (3)$$

Анализ выражения (3) показывает, что значение N не зависит от параметров ФЭУ и определяется лишь параметрами ГГД ЧЭ, а также уровнем шумов элементов схемы. Значения N находятся в диапазоне (0,06 - 0,12) мГал⁻¹ для возможных сочетаний параметров ГГД ЧЭ. Таким образом, порог чувствительности датчика, определяемый уровнем токовых шумов, ограничивается значениями (0,06 - 0,12) мГал.

Численная оценка (2) показывает, что чувствительность оптических датчиков составляет порядка 15 - 60 мкВ/мГал. Таким образом, использование оптического датчика предпочтительнее по сравнению с емкостным в случае, когда требуется обеспечение порога чувствительности, меньшего 0,1 мГал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А., Крюков А.М., Говаленков С.В. Методы анализа элементов и систем автоматического управления. - Харьков: ХВВКИ-УРВ, 1992. - 120 с.
2. Никулин Н.В., Назаров А.С. Радиоматериалы и радиодетали. - М.: Высшая школа, 1976. - 232 с.
3. Полищук Е.С. Измерительные преобразователи. - К.: Вища школа, 1981. - 296 с.